

자가 구성 네트워크에서 셀Zooming과 비협력 게임 이론을 이용한 단말기의 최저 SINR 개선을 위한 셀 간 간섭 조정

윤종윤*, 김호연*, 탁준우**, 노종선**

Inter-Cell Interference Coordination for Improvement of the Minimum SINR of Mobile Station Using Cell-Zooming and Non-Cooperative Game Theory in Self Organizing Network

Jong-Yoon Yoon*, Ho-youn Kim*, Jun-Woo Tak**, Jong-Seon No**

요약

본 논문에서는 각 기지국들이 백홀을 통한 정보 공유할 수 없는 자가 구성 네트워크를 위한 셀 간 간섭 조정이 제안된다. 제안하는 셀 간 간섭 조정 기법은 셀Zooming을 기반으로 비협력 게임을 이용한다. 모의 실험을 통하여 제안하는 기법이 효과적으로 셀 간 간섭과 커버리지 홀을 해결하며, 자가 구성 네트워크 내의 단말의 최저 신호대 잡음간섭비를 개선하는 것을 보인다.

Key Words : Cellular network, self organizing network, inter-cell interference coordination (ICIC), backhaul, non-cooperative game theory, cell zooming, signal to interference noise ratio (SINR)

ABSTRACT

In this paper, inter-cell interference coordination (ICIC) for self-organizing network (SON) is proposed, where each BS is not able to share information through backhaul to perform conventional ICIC schemes. The proposed ICIC scheme is based on distributed cell zooming (CZ), where non-cooperative game theory is used. Further, we show that proposed scheme can efficiently handle inter-cell interference and coverage hole problem and thus improve the minimum SINR of mobile station (MS) in self organizing network by numerical analysis.

1. 서론

일반적인 셀룰러 네트워크에서는 네트워크의 자원 할당과 셀의 지리적 배치가 셀 간 간섭을 조정하기 위해 트래픽 로드(traffic load)와 셀 계획(cell planning)

에 따라서 사전에 정의되어 있다. 또한 백홀(backhaul) 네트워크를 통한 정보 공유를 이용하는 많은 간섭 회피 기법(interference avoidance scheme)들이 적용된다. 백홀을 통한 정보공유가 셀룰러 네트워크에서 충분히 가능한 경우, 활성 셀들로 인한 셀 간 간섭은 기

* First Author : Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University, yjy998@ccl.snu.ac.kr, 학생(석박사), 학생회원

* Samsung Electronics, ferui@ccl.snu.ac.kr, 연구원, 학생회원

** Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University, jwt@ccl.snu.ac.kr, 학생(석박사), 학생회원; jsno@snu.ac.kr, 정교수, 종신회원

논문번호 : 201912-344-A-RU, Received December 20, 2019; Revised February 1, 2020; Accepted February 3, 2020

지국 간 협력(base station cooperation)을 통해서 처리가 가능하다. 그러나 셀룰러 네트워크의 일환인 자가 구성 네트워크(self organizing network, SON)에서는 셀 계획과 기지국 협력 없이 간섭 조정이 이루어져야 하고, 이러한 경우 기존의 셀룰러 네트워크에서 셀 간 간섭 조정(inter-cell interference coordination, ICIC) 기법들은 적절하지 못하다. 따라서 자가 구성 셀룰러 네트워크를 위한 셀 간 간섭 조정 기법이 필요하고 이를 위해 셀Zooming(cell zooming)을 활용하고자 한다. 기본적으로, 셀Zooming은 에너지 효율을 위한 목적으로 셀룰러 네트워크에서 많이 사용되어져 왔다^{1,2}. QoS (quality of service)를 달성하는 기지국 스위칭 (switching)과 셀Zooming 기법이 친환경 셀룰러 네트워크를 위해 연구되었다². 제안된 기법²은 각 셀의 단말기의 QoS조건을 달성하는 것을 지표로 고려하였다. 푸아송 보로노이 테셀레이션(Poisson Voronoi tessellation, PVT) 랜덤 셀룰러 네트워크에서의 셀Zooming 관련 연구로 우선 모든 기지국이 동일한 송신 전력을 사용하고 셀 용량이 무한할 때의 면적당 주파수 효율과 에너지 효율을 이론적으로 구한 결과가 있다³. 또한, 다른 연구에서 몇 가지 셀Zooming 알고리즘이 소개된 바 있는데^{4,5}, 모두 기지국들을 트래픽이 집중된 정도에 따라 정렬하여 그 정보를 이용한 바 있다.

자가 구성 네트워크에서 셀Zooming에 관한 연구도 이루어졌는데, 기지국 간 정보 공유가 부분적으로 가능한 상황에서의 셀Zooming 기반 셀 간 간섭 조정에 관한 기법이 제안되었다⁶.

본 논문에서는 백홀 네트워크를 통한 셀 간 정보 공유가 불가능한 자가 구성 네트워크에 적합한 셀 간 간섭 조정 기법을 분산 셀Zooming을 기반으로 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 셀Zooming을 활용하여 인접 셀에 미치는 간섭을 조절해, 전체 네트워크 내 단말기의 최저 신호대잡음간섭비(signal to noise interference ratio, SINR)를 개선한다. 셀Zooming을 중앙

집중 방식이 아닌 분산방식으로 설계하기 위해서 비협력 게임(non-cooperative game theory)을 적용한다. 제안하는 셀 간 간섭 조정 기법이 전체 네트워크 내의 단말기의 최저 SINR를 효과적으로 개선하는 것을 모의실험을 통해 보인다.

II. 셀Zooming

일반적인 셀룰러 네트워크에서는 셀의 크기는 트래픽 로드를 고려하여 설계하고 고정되어 있다. 그러나, 트래픽 로드는 경우에 따라 일시적으로 크게 변동이 될 수 있고 이는 셀 계획과 셀 운영에 있어서 문제이자 기회를 가져올 수 있다. 본 장에서는 트래픽 로드, 채널 상태 등에 따라 순응적으로 셀의 크기를 조절하는 셀Zooming의 개념을 소개하고자 한다.

각 셀에서, 기지국은 공통의 통제 신호와 데이터 신호를 단말기들에게 전송하고 이 때 셀의 사이즈는 단말기들이 통제 신호를 기지국으로 받을 수 있는 영역으로 정의된다. 네트워크 계획 단계에서, 셀의 사이즈와 캐퍼시티(capacity)는 기본적으로 최대 트래픽 로드 에 의해서 정해진다. 그러나 셀룰러 네트워크의 트래픽 로드는 사용자의 이동성과 많은 데이터 어플리케이션의 폭발적인 증가로 일시적으로 크게 변동이 생길 수 있다. 따라서 유동적으로 셀의 크기를 트래픽 상황에 따라 조정하는 셀Zooming이 제안되었다¹¹. 셀Zooming은 트래픽 로드의 균형을 맞추는 목적으로 사용될 수 있고 셀Zooming의 예는 그림 1에 묘사되어있다.

초기의 셀Zooming은 셀Zooming 서버가 존재하고 셀Zooming의 과정을 통제하는 중앙집중식 셀Zooming이다. 셀Zooming 서버는 트래픽 로드, 단말기 분배 등의 네트워크의 상태 정보를 수집하고 이를 기반으로 셀Zooming의 필요성을 확인 후, 결정을 한다. 만약 특정 셀이 줌인(zoom in)이나 줌아웃(zoom out)을 하는 경우, 셀Zooming 서버의 도움으로 인접 셀들을 고려하게 된다.

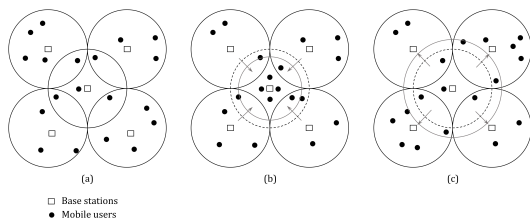


그림 1. 셀룰러 네트워크에서의 셀Zooming: (a) 본래 크기의 셀들; (b) 가운데 셀이 줌인; (c) 가운데 셀이 줌아웃
Fig. 1. Cell zooming in cellular network: (a) Cells with original size; (b) Central cell zooms in; (c) Central cell zooms out

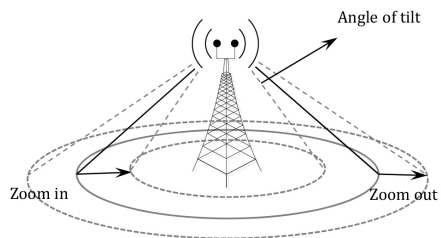


그림 2. 안테나 각도 조절을 이용한 셀Zooming
Fig. 2. Cell zooming using angle of tilt

셀주밍은 네트워크 배치의 물리적 지표들을 조정함에 따라서 고안될 수 있다. 셀들은 기지국의 송신 전력을 크게 함으로써, 줌 아웃을 할 수 있고 반대의 경우도 마찬가지로 성립한다. 더 나아가, 기지국의 안테나의 높이와 각도 등을 조정함에 따라 셀을 줌 인하거나 줌 아웃 할 수 있다. 전송률 같은 사용자를 위한 지표는 셀주밍을 통하여 개선이 될 수 있다. 그러나 셀주밍은 한편으로는 셀 간 간섭이나 커버리지 홀(coverage hole)등의 문제를 야기 시킬 수 있다. 예를 들어 인접 셀들이 함께 줌아웃을 하는 경우, 그들 간의 간섭은 더욱 증가하게 된다. 따라서 기지국 간 협력이 불가능한 경우에는, 셀 간 간섭을 제어할 효과적인 간섭 관리 기법이 추가로 필요하게 된다. 셀주밍은 또한 커버리지 홀을 야기 시킬 수 있다.

셀들이 줌 인 또는 줌 아웃을 할 때, 네트워크의 특정 영역은 서비스 영역 밖이 될 수 있다. 이러한 문제들이 셀주밍을 설계할 때 고려되어야 한다. 자가 구성 네트워크의 경우, 셀의 균형적인 배치가 불가능하기에 커버리지 홀 문제를 효과적으로 제어하기 위해서는 셀주밍처럼 상황에 따라 유동적으로 기지국의 송신 반경을 넓히는 기법이 필요하다. 이는 특히, 자가 구성 네트워크가 일반적인 상업용 셀룰러 네트워크보다 군통신 등에서 사용되는 네트워크이고, 이러한 군 통신 네트워크에서 커버리지 홀 문제는 전송률보다 훨씬 중요한 문제이므로 자가 구성 네트워크에 셀주밍을 적용하는 것은 가치가 있다.

III. 비협력 게임 이론

많은 셀주밍 기법들이 I장에서 서술하였듯이 중앙 집중형 방식으로 설계되었고, 셀주밍만을 자가 구성 네트워크에 적용하는 것은 백홀을 통한 정보공유가 불가능한 자가 구성 네트워크에서는 적절하지 못하다. 이는 셀 간 통제 메시지가 공유되지 못하고, 어떠한 셀도 셀 서버의 역할을 담당할 수 없기 때문이다. 따라서, 자가 생성 네트워크에서의 셀주밍을 활용한 분산형 셀 간 간섭 조정 기법을 설계하기 위해서는 정보 공유 없이도 각 셀에서 스스로 셀주밍을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 비협력 게임 이론을 적용하고자 한다. 우선, 셀주밍 계수는 다음과 같이 정의된다.

정의 1 (셀주밍 계수): 셀 j 의 셀주밍 계수 r_j 는 다음과 같이 정의 된다.

$$r_j = \left(\frac{P_{CZ}}{P}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (1)$$

이 때, P_{CZ} , P , 그리고 α 는 각각, 셀주밍 후 기지국의 송신 전력, 기지국의 송신전력, 그리고 감쇄 계수이다. 셀주밍 계수는 셀주밍 후 셀의 반지름의 증감을 나타내는 지표로 생각할 수 있다.

게임 이론은 논리적인 판단을 내릴 수 있는 의사결정들 간에 갈등과 협력의 수학적 모델에 관한 이론이다. 게임은 각 플레이어가 동맹을 형성하지 못하고, 모든 행동들을 독자적으로 결정해야 하는 경우 비협력 게임으로 정의된다. 게임에 존재하는 기본적인 구성요소는 다음과 같다;

- 플레이어(player) : 의사결정자
- 행동 : 전략을 기본으로 한 플레이어가 하는 행위
- 전략 : 플레이어의 결정 규칙
- 유틸리티(utility) : 각 플레이어가 행동을 기본으로 지불해야 하는 것

이 때, 유틸리티는 다음의 두 가지로 구성된다;

- 보상: 전략을 통해서 최대화하고자 하는 플레이어의 이윤
- 비용 : 보상을 위해서 각 플레이어가 지불하는 대가 만약 각 플레이어가 전략을 정하고, 어떠한 플레이어도 다른 플레이어가 전략을 고정하고 있을 때 전략을 바꿈에도 아무런 이득을 얻지 못하는 경우, 현재의 전략과 해당되는 유틸리티들은 Nash 균형을 이루게 된다.

정의 2 (Nash 균형): Nash 균형은 2명 이상의 플레이어가 존재하는 비협력 게임의 해로, 이 상태에서 어떠한 플레이어도 균형점에서 자신의 전략을 바꿈에도 아무런 이득을 얻지 못할 때 이를 Nash 균형이라 한다.

IV. 인접 신호 추정 기반의 유틸리티 함수 설계

4.1 보상 함수 설계

셀 k 에 대한 보상함수를 셀 k 내에서 최저 SINR을 가지는 단말기가 수신하는 기지국의 신호의 세기로 정한다. 이 때, 비협력 게임의 플레이어 k 는 셀 k 의 기지국이고, 플레이어 k 의 행동은 셀주밍 계수 r_k 를 정하는 것이다. 또한 플레이어 k 의 전략은 유틸리티를 최대화하는 것이다. 플레이어 k 의 보상함수 R_k 는

다음과 같이 주어진다.

$$R_k = P_k \left(\frac{x_{k_{\min},k}}{r_k} \right)^\alpha \quad (2)$$

이 때, k_{\min} 은 셀 k 내에서 최저 SINR의 단말기고, $P_k, r_k, x_{k_{\min},k}$ 는 각각 기지국 k 의 기본 송신전력, 셀주밍 계수, 그리고 기지국 k 와 단말기 k_{\min} 사이의 거리다.

4.2 비용 함수 설계

비용 함수는 기지국 간 협력이 불가능한 상황에서의 셀 간 간섭을 억제하는 목적으로 설계가 되어야 한다. 만약 각 기지국들이 높은 보상을 얻기 위해 셀주밍 계수를 계속해서 증가시킨다면, 전체적인 셀룰러 네트워크에서의 셀 간 간섭이 악화된다.

기지국 간 협력과 정보 공유가 불가능하기 때문에, 타 셀에 미치는 간섭을 각 셀에서 자신이 가진 정보만으로 추정하여 이를 비용 함수로 설계한다. 인접 셀들의 지리적인 정보와 단말기 상태 역시 공유가 되지 않기 때문에, 각 셀은 자신이 어떤 셀에 가장 크게 간섭을 주는 지 알 수가 없다.

셀 m 이 셀 k 에게 가장 큰 간섭을 주는 셀이라고 가정해보자. 즉, 최저 SINR의 단말기 k_{\min} 에 대하여 셀 m 의 기지국이 두 번째로 강한 RSRP (Reference signal received power)를 준다.

$$m = \operatorname{argmax}_{i, i \neq k} P_i \left(\frac{x_{k_{\min},i}}{r_i} \right)^{-\alpha} \quad (3)$$

이 때, 셀 m 에 속하는 단말기 중에, 단말기 k_{\min}

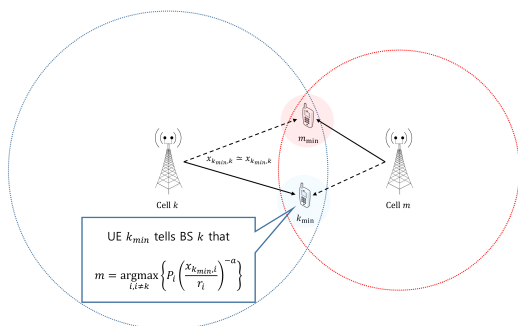


그림 3. 셀 k 가 인접 셀들에 미치는 간섭 추정
Fig. 3. Estimation of interference from cell k to neighboring cells

에 인접한 단말기가 기지국 k 로부터 가장 강한 간섭을 받는다고 가정할 수 있다. 이를 통해 셀 m 의 최저 SINR의 단말기 m_{\min} 의 지리적 위치를 k_{\min} 과 거의 같다고 가정할 수 있다.

$$x_{m_{\min},k} \simeq x_{k_{\min},k} \quad (4)$$

이 때, 셀 k 의 비용 함수 C_k 를 기지국 k 가 단말 m_{\min} 에 미치는 간섭의 근사화한 값으로 설계한다.

$$C_k = -b\delta P_k^a \left(\frac{x_{m_{\min},k}}{r_k} \right)^{-a\alpha} \simeq -b\delta P_k^a \left(\frac{x_{k_{\min},k}}{r_k} \right)^{-a\alpha} \quad (5)$$

이 때, 이 δ, b 는 각각 평균 인접 셀의 수와 비용함수의 가중치이다. 또한 a 는 비용함수 내의 간섭에 대한 지수 지표로 Nash 평형에 수렴하는 설계를 하기 위해서 1보다 큰 값으로 설계해야 한다. 즉, 유틸리티 함수를 r_k 에 대한 볼록함수로 설계해야 한다.

본 논문에서는 a 를 2로 고정하고 비용함수를 설계한다. 모의 실험을 통해서 알아본 결과, a 가 2보다 작은 경우에는 Nash 평형점으로 수렴하는 속도가 느렸고, 2보다 큰 경우에는 셀주밍 계수의 변동 폭이 너무 크게 증가해 오히려 제대로 평형점으로 수렴하지 못하였다. 또한 정수가 아닌 경우, Nash 평형점 유도에 부적절하여 정수인 2로 설계를 하였다.

4.3 유틸리티 함수와 Nash 평형점

수식 (2)와 (3)에 의하여 유틸리티 함수 U_k 는 다음과 같이 주어진다.

$$U_k = R_k + C_k = P_k \left(\frac{x_{k_{\min},k}}{r_k} \right)^\alpha - b\delta P_k^2 \left(\frac{x_{k_{\min},k}}{r_k} \right)^{-2\alpha} \quad (4)$$

플레이어 k 의 Nash 평형점(Nash equilibrium)은 다음의 편미분 식을 만족해야한다.

$$\frac{\partial U_k}{\partial r_k} = \alpha P_k (x_{k_{\min},k})^{-\alpha} r_k^{\alpha-1} - 2\alpha b\delta P_k^2 (x_{k_{\min},k})^{-2\alpha} r_k^{2\alpha-1} = 0 \quad (5)$$

Nash 평형점 r_k^* 는 (5)에 의하여 다음과 같이 구해진다.

$$r_k^* = \sqrt[\alpha]{\frac{(x_{k_{\min},k})^\alpha}{2b\delta P_k}} \quad (6)$$

또한 유틸리티 함수가 Nash 평형점에서 최대가 되기 위해 r_k 에 대한 볼록 함수여야 하고, 다음의 편미 분식을 역시 만족해야한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U_k}{\partial^2 r_k} &= \alpha(\alpha-1)P_k(x_{k_{\min},k})^{-\alpha}r_k^{\alpha-2} \\ -2\alpha(2\alpha-1)b\delta P_k^2(x_{k_{\min},k})^{-2\alpha}r_k^{2\alpha-2} &\leq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

수식 (7)은 다음과 같은 r_k 의 조건식으로 나오게 된다.

$$r_k \geq \sqrt[\alpha]{\frac{(\alpha-1)(x_{k_{\min},k})^\alpha}{2(2\alpha-1)b\delta P_k}} \quad (8)$$

따라서, r_k 는 다음의 범위에서 정해져야 한다.

$$\sqrt[\alpha]{\frac{(\alpha-1)(x_{k_{\min},k})^\alpha}{2(2\alpha-1)b\delta P_k}} \leq r_k < r_{\max} \quad (9)$$

이 때, r_{\max} 는 기지국에서 물리적으로 가능한 최대 송신 전력일 때의 셀주밍 계수이다.

각 단말은 최대 RSRP를 제공하는 기지국이 관리 하게 되고, 만약 셀이 포화상태라면, 기지국은 그 다음으로 최대 RSRP를 제공하는 다른 기지국으로 그 단말을 양도 할 수 있다. 단말들에 대한 분배가 끝난 상황에서 각 셀에서 셀주밍이 순차적으로 수행되게 되고, 평형 상태가 될 때까지 단말 양도(handover)와 셀주밍을 반복해서 수행하게 되고 이 때, 셀 k 의 셀주밍 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$r_k = \min(r_k^*, r_{\max}) \quad (10)$$

V. 실험

IV장에서 제안한 셀 간 간섭 조정 기법에 관한 모 의실험 환경은 다음과 같다.

- 셀의 수 : 5
- 채널 감쇄 계수 α : 3
- 단말의 수 : 80

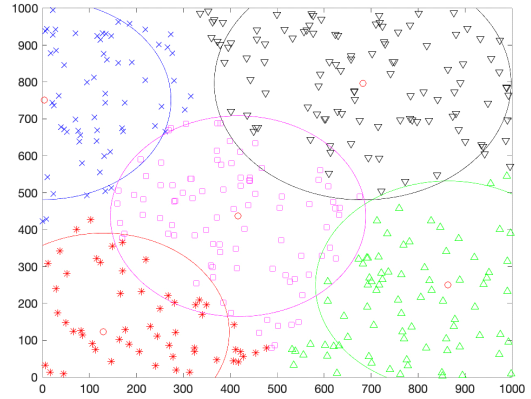


그림 4. 기지국들의 임의에 존재하는 상황에서의 셀주밍 후 셀 반경

Fig. 4. Cell radius after cell-zooming when base stations are randomly located.

- 각 셀의 초기 반지름 : 200m
- 각 기지국의 초기 송신전력 세기 : 50 dBm
- 잡음 세기 : -40,-35,-30,-25 dBm
- 셀주밍 계수 최대값 = $\sqrt[3]{3} = \sqrt[3]{3}$
- 평균 인접 셀 수 b : 4

본 실험에서는 그림 4와 같이 가로, 세로 1km인 영역에서 각 기지국이 기지국 간 100m 이상의 최소거리를 유지하며, 임의에 존재하는 상황을 고려하였다. 각 단말기의 수는 셀 당 평균 80개씩 총 400개가 존재하

표 1. 셀 간 간섭 조정을 위한 셀주밍
Table 1. A cell-zooming for ICIC

셀 간 간섭 조정을 위한 셀주밍	
초기화 및 단말 양도	
1)	각 단말은 가장 높은 RSRP를 제공하는 기지국에 할당을 요청한다.
2)	BS k 는 셀 용량까지 가장 높은 RSRP를 가진 단말 순으로 받아들인다.
3)	셀 k 가 포화되면, 셀 k 에 할당되기를 희망하는 단말들은 두 번째로 높은 RSRP를 제공하는 셀로 양도 된다.
셀 주밍	
1)	각 BS k 는 셀 k 내에서 최저 SINR을 가지는 단말 k_{\min} 을 찾는다.
2)	k_{\min} 의 SINR을 토대로, 셀 주밍 계수 $r_k = (r_k^*, r_{\max})$ 로 갱신한다.
3)	각 셀들이 돌아가면서 셀 주밍 계수를 갱신하고, 수렴할 때까지 반복한다.

표 2. 셀주밍 전 후 네트워크 내의 단말기의 최저 SINR
 Table 2. The minimum SINRs of user equipment before and after cell-zooming

noise power (dBm)	the minimum SINR before cell-zooming	the minimum SINR after cell-zooming	improvement ratio
-40	0.4676	0.4753	1.6%
-35	0.4490	0.4693	4.5%
-30	0.3954	0.4436	12%
-25	0.3212	0.3785	18%

고, 기지국마다 최대 100개까지 수용 가능한 상황을 고려하였다. 표 1에서 셀주밍 전 송신 전력의 세기는 셀 주밍 후와 공평한 비교를 위하여, 셀 주밍 후 송신 전력의 평균 전력으로 각 기지국의 송신 전력을 동일하게 설정하였다.

표 2에 SINR 값들은 기지국과 단말의 위치를 바꿔 가며 1만회를 반복하여 네트워크 내의 존재하는 단말 중 최저 SINR의 평균을 산출하여 비교하였다. 표1을 통하여, 제안하는 셀주밍 기법이 잡음의 세기가 커질 때, 전체 네트워크에서 단말기의 최저 SINR 개선률이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문에서 제시한 모의실험 환경은 셀에 있는 기지국의 위치가 임의에 분포된다는 점을 고려하여 각 셀마다 단말의 수용량을 넉넉하게 설정하였고, 단말의 분배가 비교적 불균등하게 분포하는 것이 가능하다. 이로 인하여, 단말의 포화 등으로 인하여 발생하는 인접 셀 간 간섭 조정 문제의 비중이 줄어들게 되었다. 한편, 기지국과 그 기지국이 수용하는 단말 간의 거리가 멀리 떨어진 경우는 자가 구성 네트워크의 특성 상 필연적으로 발생하게 된다. 이 때, 셀 주밍을 통하여 잡음의 세기를 극복하면서 동시에 셀 간 간섭을 개선할 수 있게 송신전력을 조절해주지 않으면 SINR의 열화가 심각해지기 때문에 잡음 위주의 환경에서 셀 주밍을 통한 최저 SINR이 더 크게 개선 되었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 자가 구성 셀룰러 네트워크에서 최저 SINR을 향상시키는 셀 간 간섭 조정 기법을 제안 하였다. 제안한 기법은 비협력 게임이론 기반의 셀주밍을 기반으로 설계 하였고 이를 통해 백홀을 통한 기지국 간 정보 공유 없이도 간섭 조정에 적합한 셀주밍

이 가능하였다. 모의실험을 통해서 제안하는 기법이 효과적으로 각 셀의 송신 전력을 조정하여 네트워크의 최저 SINR를 개선함으로써 셀 간 간섭 조정이 효과적으로 이루어진다는 것을 보였다.

References

- [1] Z. Niu, Y. Wu, J. Gong, and Z. Yang, "Cell zooming for cost-efficient green cellular networks," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 74-79, Nov. 2010.
- [2] L. B. Le, "QoS-aware BS switching and cell zooming design for OFDMA green cellular networks," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1544-1549, Anaheim, USA, Apr. 2012.
- [3] A. R. Khamesi and M. Zorzi, "Energy and area spectral efficiency of cell zooming in random cellular networks," *IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Washington, DC, 2016.
- [4] Z. Zhang, F. Liu, and Z. Zeng, "The cell zooming algorithm for energy efficiency optimization in heterogeneous cellular network," *WCSP*, pp. 1-5, Nanjing, 2017.
- [5] Y. You, J. Sheng, Q. Zhu, C. Zhu, and D. Ma, "A novel cell zooming strategy towards energy efficient based on load balancing in random heterogeneous networks," *2017 IEEE ICCT*, pp. 522-527, Chengdu, 2017.
- [6] J. W. Tak, J. Y. Yoon, H. Kim, M. Yang, and J. S. No, "A cell zooming and sleeping algorithm for outage performance improvement in random cellular network," *J. KICS*, vol. 44, no. 07, pp. 1271-1279, Jul. 2019.

윤 종 윤 (Jong-Yoon Yoon)



2013년 2월 : 연세대학교 전기
전자 공학부 졸업
2013년 3월~현재 : 서울대학교
전기·컴퓨터 공학부 석박사
통합과정
<관심분야> 통신공학, 간섭관
리, 시공간부호

[ORCID:0000-0002-4415-2458]

노 종 선 (Jong-Seon No)



1981년 2월 : 서울대학교 전자
공학과 공학사
1984년 2월 : 서울대학교 대학
원 전자공학과 공학석사
1988년 5월 : University of
Southern California 전기공
학과 공학박사

1988년 2월~1990년 7월 : Hughes Network Systems
Senior MTS

1990년 9월~1999년 7월 : 건국대학교 전자공학과 부
교수

1999년 8월~현재 : 서울대학교 전기·정보공학부 교수
<관심분야> 시퀀스, 협력통신, 시공간부호, 네트워
크코딩, LDPC 부호, OFDM, 이동통신, 암호학

[ORCID:0000-0002-3946-0958]

김 호 연 (Ho-youn Kim)



2012년 8월 : 서울대학교 전기·
컴퓨터 공학부 졸업
2018년 8월 : 서울대학교 전기·
컴퓨터 공학부 박사
2018년 9월~2019년 2월 : 서울
대학교 연구원
2019년 5월~현재 : 삼성전자

<관심분야> 통신공학, 간섭관리, 시공간부호

[ORCID:0000-0001-7357-9234]

탁 준 우 (Jun-Woo Tak)



2015년 2월 : 고려대학교 전기·
컴퓨터 공학부 졸업
2015년 3월~현재 : 서울대학교
전기·정보 공학부 석박사 통
합과정
<관심분야> 통신공학, 간섭관
리, 정보이론

[ORCID:0000-0001-9102-980X]